饲料中添加微囊丁酸钠对高密度养殖条件下团头鲂生长性能、非特异性免疫力及肝功能的影响[1]

曲湘勇　罗　玲　韩奇鹏

（湖南农业大学动物科学技术学院，湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128）

摘　要：本试验旨在研究饲料中添加微囊丁酸钠对高密度养殖条件下团头鲂生长性能、非特异性免疫力及肝功能的影响。选取健康、规格相近的团头鲂[初始体重为（200.78±0.46） g]1 500 尾，随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 50 只。对照组饲喂基础饲料，试验组分别饲喂在基础饲料基础上添加 200、400、600 和 1 000 mg/kg 微囊丁酸钠的试验饲料，试验期 60 d。结果显示：1）与对照组相比，饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了增重率（P<0.05）；饲料中添加 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著降低了饲料系数（P<0.05）。2）与对照组相比，饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了血清、黏液、肝脏中总超氧化歧化酶（T-SOD）活性和血清中溶酶菌（LSZ）活性(P＜0.05)；饲料中添加 400 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了肝脏中 T-SOD 活性和血清中 LSZ 活性(P＜0.05)；饲料中添加 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了黏液中 LSZ 活性(P＜0.05)。3）与对照组相比，饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了肝脏中谷丙转氨酶（GPT）、谷草转氨酶（GOT）活性(P＜0.05)。由此可见，饲料中添加适量微囊丁酸钠有利于提高高密度养殖条件下团头鲂对饲料的利用率及其非特异性免疫力，并改善肝功能。

关键词：微囊丁酸钠；团头鲂；生长性能；非特异性免疫力；肝功能

中图分类号：S963　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

丁酸钠又称正丁酸钠盐，目前主要作为替代抗生素类添加剂在饲料中应用，其有效成分丁酸是一种短链挥发性脂肪酸，主要来自大肠中厌氧杆菌对糖类和蛋白质的酵解，是结肠

收稿日期：2017-12-28
基金项目：湖南农业大学产学研合作项目（11110，13098）
作者简介：曲湘勇（1962—），湖南长沙人，教授，博士，主要研究方向为家禽生产科学。E-mail：quxy99@126.com

能量的主要来源[1-2]。大量研究证实，丁酸钠可以刺激单胃动物肠道黏膜的生长和细胞增殖，抑制单胃动物消化道病原微生物和寄生虫增殖，缓解或预防多种原因造成的腹泻以及促进瘦素和胰高血糖素样肽 2(GLP-2)的分泌等[3]，其在促进仔猪、肉仔鸡、幼鱼生长、消化和抗氧化方面都有明显效果[4-11]。在预混料、制粒条件下，经包被的微囊丁酸钠比粉剂的丁酸钠稳定性好、损失率小，而且在胃中的溶解度也有所降低，从而可以使丁酸钠在肠道逐渐释放来发挥其生理作用，且经猪、鸡的动物试验验证包被的微囊丁酸钠饲养效果较粉剂的丁酸钠更好[12-14]。团头鲂是我国淡水养殖的优良品种，其肉质鲜美、抗病强，随着现代渔业集约化养殖的发展，团头鲂的养殖密度增大，水中有机质、氨氮含量及微生物数量等增加，水中溶氧浓度降低，均给团头鲂带来了较大的应激。目前，关于微囊丁酸钠对团头鲂成鱼阶段生长性能、非特异性免疫力和肝功能的影响尚未见报道。因此，本研究以团头鲂成鱼为研究对象，通过在饲料中添加不同剂量的微囊丁酸钠，研究其对团头鲂生长、非特异性免疫力和肝功能的影响，以期为丁酸钠在团头鲂高密度养殖中的综合利用提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

微囊丁酸钠：由杭州康德权饲料有限公司提供，含30％丁酸钠。

1.2　试验设计与饲养管理

试验在岳阳某试验场的水泥池（规格：2.0 m×1.5 m×1.5 m）中进行。经 2 周暂养后，选择健康、规格相近的团头鲂[初始体重为（200.78±0.46）　g]1 500 尾，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 50 尾。对照组（Ⅰ组）饲喂基础饲料（基础饲料组成及营养水平如表 1），试验组（Ⅱ～Ⅴ组）分别饲喂在基础饲料基础上添加 200、400、600、1 000 mg/kg 微囊丁酸钠的试验饲料，试验期为 60 d。所有饲料原料经粉碎过 40 目筛，采用国产环模式制粒机加工成直径为 1.5 mm、长为 2.0 mm 的颗粒饲料。

养殖用水为地下井水，经过过滤、沉淀后流回蓄水池，再经过增氧、控温后由水泵送至鱼池，每天 08:00、12:00、18:00 定时投喂饲料，日投饵量为鱼体重的 3.0%～3.5％，按水产养殖的常规程序定期换水和调水。试验期间水温为 24～31 ℃，溶氧浓度>5.0 mg/L，pH 为 7.0～7.5，氨氮浓度<0.5 mg/L，亚硝酸盐浓度<0.05 mg/L。

表 1　基础饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
鱼粉 Fish meal	2.0
豆粕 Soybean meal	30.0
菜籽粕 Rapeseed meal	22.0
棉籽粕 Cottonseed meal	8.0
大麦皮 Barley husk	10.0
面粉 Flour	10.0
全脂米糠 Full-fat rice bran	8.0
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS	3.0
豆油 Soybean oil	1.5
亚麻油 Linseed oil	1.0
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	2.2
氯化胆碱 Choline chloride	0.2
酯化维生素 C Esterified vitamin C	0.1
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	1.0
矿物质预混料 Mineral premix[2)]	1.0
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]	
粗蛋白质 CP	30.30
粗脂肪 EE	5.00
粗灰分 Ash	6.70
钙 Ca	1.04

总磷 TP	1.15
有效磷 AP	0.49
赖氨酸 Lys	1.51
蛋氨酸 Met	0.50
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	1.03

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 9 000 000 IU，VB_1 320 mg，VB_2 1 090 mg，VB_6 5 000 mg，VB_{12} 116 mg，生物素 biotin 50 mg，叶酸 folic acid 165 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 1 000 mg，肌醇 inositol 15 000 mg，烟酸 nicotinic acid 2 500 mg，抗氧化剂 antioxidant 200 mg。

2) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet：Cu (as copper methionine) 2 mg，Fe (as ferrous methionine) 106.5 mg，Mn (as manganese methionine) 5 mg，Zn (as zinc methionine) 15 mg，I (as potassium iodide) 1 mg，Se (as sodium selenite) 0.25 mg，Co (as cobalt chloride) 100 mg。

3) 实测值 Measured values。

1.3 取样及检测指标

试验期间每日记录团头鲂的投喂量和死亡数，养殖试验结束时，禁食 24 h 后进行计数和称重，并计算成活率(SR)、增重率（WGR）、饲料系数(FCR)和肥满度(CF)。每组随机抽取 5 尾，尾静脉采血，3 500 r/min 离心 15 min 取上层血清，于 4 ℃冰箱保存待测谷丙转氨酶（GPT）、谷草转氨酶（GOT）、总超氧化物歧化酶（T-SOD）和溶菌酶（LSZ）活性；用滤纸将鱼体表面的水分吸干，用解剖刀从鱼体表面不同部位刮取黏液，称重后加入 5 倍体积的 pH 7.4、0.02 mol/mL 的磷酸缓冲液，用匀浆器匀浆，4 ℃、10 000 r/min 离心 20 min，取上清液，用液氮速冻后转至-40 ℃超低温冰箱保存，待测 T-SOD 和 LSZ 活性；取新鲜肝胰脏，经称重后加入 10 倍体积的 pH 7.4、0.2 mol/mL 的磷酸缓冲液，用匀浆机匀浆，4 ℃、

10 000 r/min 离心 20 min，取上清液，用液氮速冻后转至-40 ℃超低温冰箱保存，待测 GPT、GOT 和 T-SOD 活性。

1.4　测定方法

生长性能指标的计算公式如下：

成活率（%）=100×(初始尾数－终末尾数)/初始尾数；

增重率（%）=100×(终末体重－初始体重)/初始体重；

饲料系数=投饲量/(终末体重－初始体重)；

肥满度(g/cm^3)=体重/体长^3。

血清、肝胰脏和黏液中 T-SOD 活性以及肝胰脏中 GPT 和 GOT 活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒，使用酶标仪（Multiskan GO）、离心机、恒温水浴箱、快速混匀器等仪器测定。

血清中 GPT 和 GOT 活性采用全自动生化分析仪（迈瑞 BS-200）及配套试剂测定。

血清和黏液中 LSZ 活性按 Hultmark 等[15]的方法用 UV-1600 型紫外可见分光光度计（北京瑞利）测定，具体方法：用 0.1 mol/L 的磷酸钾缓冲液将溶壁微球菌配成悬液体[初始吸光度值（A_0）≈0.3]，取悬液于试管内水浴 30 min 后取出，水浴 10 min 终止反应，测定终末吸光度值（A）。

LSZ 活性＝（A_0-A）/A。

1.5　数据统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 统计软件中的 ANOVA 过程进行单因素方差分析，组间差异显著性采用 Duncan 氏法进行多重比较，P<0.05 为差异显著。试验数据用平均值±标准差表示。

2　结　果

2.1　饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂生长性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，饲料中添加 200、400、600 和 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠对团头鲂的肥满度和成活率无显著影响（P＞0.05），但成活率随着微囊丁酸钠添加量的增加而升高；饲料中添加 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著增加了团头鲂的终末体重（P<0.05）；

饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了团头鲂的增重率（P<0.05）；饲料中添加 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著降低了团头鲂的饲料系数（P<0.05），且随着微囊丁酸钠添加量的增加，团头鲂饲料系数呈先增大后减少的趋势。

表 2　饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂生长性能的影响

Table 2　Effects of microencapsulated sodium butyrate supplementation on growth performance of blunt snout bream

组别 Groups	初始体重 IBW/(g/尾)	终末体重 FBW/(g/尾)	增重率 WGR/%	饲料系数 FCR	肥满度 CF/（g/cm^3）	成活率 SR/%
Ⅰ	200.83±0.41	348.40±3.21^{ab}	68.50±2.35^{b}	1.92±0.04^{b}	1.97±0.05	94.29±2.86
Ⅱ	200.89±0.35	306.26±7.43^{b}	52.45±3.45^{b}	2.47±0.12^{c}	1.92±0.03	95.36±1.60
Ⅲ	200.78±0.45	354.65±4.78^{ab}	76.64±2.12^{ab}	1.86±0.05^{ab}	2.03±0.05	96.07±1.16
Ⅳ	200.89±0.35	378.23±2.42^{ab}	88.28±1.34^{a}	1.82±0.01^{ab}	2.05±0.07	97.50±2.50
Ⅴ	200.76±0.46	412.34±1.32^{a}	95.43±1.21^{a}	1.67±0.03^{a}	1.98±0.04	100.00±0.00

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P＞0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below.

2.2 饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂非特异性免疫指标的影响

由表 3 可知，与对照组相比，饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了血清、黏液、肝胰脏中 T-SOD 活性和血清中 LSZ 活性(*P*＜0.05)；饲料中添加 400 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了肝胰脏中 T-SOD 活性和血清中 LSZ 活性(*P*＜0.05)；饲料中添加 1 000 mg/kg 微囊丁酸钠显著提高了黏液中 LSZ 活性(*P*＜0.05)。

表 3　饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂非特异性免疫指标的影响

Table 2　Effects of microencapsulated sodium butyrate supplementation on nonspecific immune indices of blunt snout bream

组别 Groups	总超氧化物歧化酶 T-SOD			溶菌酶 LSZ/×10^{-1}	
	血清 Serum/(U/mL)	黏液 Mucus/(U/g prot)	肝胰脏 Hepatopancreas/(U/g prot)	血清 Serum	黏液 Mucus
I	126.58±8.29^{b}	28.87±4.64^{b}	63.24±2.76^{b}	0.52±0.01^{b}	1.78±0.12^{b}
II	135.42±7.47^{b}	29.56±3.21^{b}	68.43±3.21^{b}	0.53±0.03^{b}	1.86±0.13^{b}
III	178.24±10.93^{ab}	34.65±2.43^{ab}	78.43±2.45^{a}	0.67±0.02^{a}	2.16±0.14^{b}

Ⅳ	206.32±7.23[a]	42.35±2.25[a]	84.25±3.24[a]	0.73±0.06[a]	2.95±0.07[ab]
Ⅴ	232.56±6.47[a]	44.54±3.21[a]	86.45±2.17[a]	0.78±0.03[a]	3.28±0.13[a]

2.3 饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂肝功能的影响

由表 4 可知，与对照组相比，饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了肝胰脏中 GPT 和 GOT 活性(P<0.05)。

表 4 饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂肝功能的影响

Table 2 Effects of microencapsulated sodium butyrate supplementation on hepatic function of blunt snout bream

组别 Groups	谷丙转氨酶 GPT		谷草转氨酶 GOT	
	血清 Serum/(U/mL)	肝胰脏 Hepatopancreas/(U/g prot)	血清 Serum/(U/L)	肝胰脏 Hepatopancreas/(U/g prot)
I	27.32±3.12	19.25±1.04[b]	136.23±8.75	29.78±8.25[b]
II	25.86±1.23	20.34±2.46[b]	132.46±6.32	32.53±2.35[ab]
III	28.34±2.34	23.38±2.43[ab]	146.28±3.42	39.46±6.23[ab]
Ⅳ	35.43±3.21	30.34±2.31[a]	142.43±8.42	42.36±4.78[a]
Ⅴ	32.24±2.54	36.75±4.78[a]	138.46±4.23	46.23±2.34[a]

3 讨 论

3.1 饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂生长性能的影响

丁酸钠对不同动物的促生长效果不尽相同，且最适添加量也存在很大差异。有研究报道丁酸钠可促进鱼类的生长，其在草鱼幼鱼饲料中的适宜添加量为0.1%～0.2%[9, 16]，在鲫鱼幼鱼阶段[初始体重(6.02±0.16) g]饲料中的适宜添加量为0.25%[6]，在大菱鲆幼鱼阶段[初始体重(13.00±0.01) g]饲料中的适宜添加量为0.15%[5]，在匙吻鲟[初始体重(48.87±3.13) g]饲料中的适宜添加量为0.1%[7]，在美洲鳗鲡幼鱼饲料中的适宜添加量为1.0%[10]。也有研究发现在鲈鱼饲料中添加0.2%的丁酸钠对其增重率和特定生长率并没有显著影响，但会显著影响免疫相关基因的表达，增强鲈鱼的免疫机能[17]。贺姣[18]研究发现，饲料中添加500 mg/kg微囊丁酸钠可降低肉鸡的死亡率并改善其福利状况。本研究发现，在团头鲂成鱼阶段，饲料中添加600、1 000 mg/kg的微囊丁酸钠显著增加了增重率，饲料中添加1 000 mg/kg微囊丁酸钠显著降低了饲料系数，与Liu等[16]在草鱼幼鱼上的研究结果相似，而且团头鲂的成活率随着丁酸钠添加量的增加而升高，与贺姣[18]在肉鸡上的研究结果相似，说明饲料中添加适量的丁酸钠对促进团头鲂的消化吸收水平和健康水平均有积极作用。

3.2 饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂非特异性免疫力的影响

已有研究发现，丁酸钠有利于促进仔猪[19]、鸡[20]免疫器官发育，提高机体黏膜免疫功能；改善鲤鱼肠道黏膜形态，提高非特异免疫力[21]；提高凡纳滨对虾血清非特异性免疫酶酚氧化酶(PO)、酸性磷酸酶(ACP)和碱性磷酸酶(AKP)活性[22]；提高围生期奶牛免疫力和抗氧能力[23]。鱼类属较低等的变温脊椎动物，其特异性免疫应答能力相对低下，非特异性免疫在其免疫防御中具有重要意义[24]，LSZ和超氧化物歧化酶（SOD）活性是衡量机体免疫能力的主要指标。LSZ又称胞壁质酶或N-乙酰胞壁质聚糖水解酶，是一种能水解致病菌中黏多糖的碱性酶[25]。SOD是超氧阴离子自由基（$O^{2-}\cdot$）的清除剂，是机体防御过氧化损害系统中的关键酶之一[26]。本研究发现饲料中添加600、1 000 mg/kg的微囊丁酸钠有利于提高团头

鲂血清、黏液、肝胰脏中 T-SOD 活性和血清中 LSZ 活性，添加 400 mg/kg 的微囊丁酸钠提高了肝胰脏中 T-SOD 活性和血清中 LSZ 活性，添加 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠提高了黏液中 LSZ 活性，与上述报道相吻合。这说明在团头鲂成鱼饲料中添加适量的丁酸钠有利于提高其非特异性免疫力，可能是因为丁酸钠通过调节肠黏膜稳态来增强自身免疫反应水平的，从而提高团头鲂的非特异性免疫力。

3.3 饲料中添加微囊丁酸钠对团头鲂肝功能的影响

GPT 和 GOT 是反映肝功能是否正常的重要指标[27]，也是反映机体氨基酸代谢情况的重要酶，主要存在肝细胞中，在机体蛋白质代谢中起着重要作用[28]。正常情况下血清中转氨酶活性低而且相对稳定[29]，当肝细胞受到外来物质的损伤时，细胞膜的通透性加大，大量 GPT 和 GOT 渗入血液，使血液中 GPT 和 GOT 活性升高且显著高于正常水平[30]。杨良辉等[31]研究发现，饲料中添加丁酸钠对尼罗罗非鱼无不良作用。魏朝青等[5]研究结果显示高植物蛋白质饲料中添加 0.15%的丁酸钠能够提高大菱鲆幼鱼肝脏的抗氧化功能。本研究结果显示，饲料中添加 200、400、600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠对团头鲂血清中 GPT 和 GOT 活性均无显著影响，添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了肝脏中 GPT 和 GOT 活性，说明添加 600、1 000 mg/kg 微囊丁酸钠有利于增强肝脏的解毒功能，加快尿素的生成，从而减少氨基酸代谢产物对机体的毒害，其具体分子机理还有待进一步验证。

4 结 论

① 饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了团头鲂的增重率，饲料添加 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了饲料利用率。

②饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了团头鲂血清、黏液、肝胰脏中 T-SOD 活性和血清中 LSZ 活性，饲料中添加 400 mg/kg 微囊丁酸钠显著提高了团头鲂肝胰脏中 T-SOD 活性和血清中 LSZ 活性，添加 1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了团头鲂黏液中 LSZ 活性。

③饲料中添加 600、1 000 mg/kg 的微囊丁酸钠显著提高了团头鲂肝胰脏中 GTP 和 GOP 活性。

④ 综合考虑，饲料中添加适量的微囊丁酸钠在一定程度有利于提高高密度养殖条件下团头鲂对饲料的利用率及其非特异免疫力，并改善肝功能。

参考文献：

[1] 王子花,申瑞玲,李文全.短链脂肪酸的产生及作用[J].畜牧兽医科技信息,2007(2):12–13.

[2] 林文燕,陈松廷,王秋荣.丁酸钠强化轮虫对真鲷仔鱼的投喂效果[J].饲料研究,2012(3):66–68.

[3] 刘小华.短链脂肪酸对肠道功效及其机制的研究进展[J].肠外与肠内营养,2012,19(1):56–58.

[4] 李虹瑾,沙万里,尹柏双,等.包膜丁酸钠对断奶仔猪肠道菌群及生长性能的影响[J].家畜生态学报,2017,38(9):30–34.

[5] 魏朝青,周慧慧,王旋,等.高植物蛋白质饲料中添加丁酸钠对大菱鲆幼鱼生长性能、营养物质表观消化率及肝脏抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2017,29(9):3392–3402.

[6] 孙浪,刘臻,郝光,等.丁酸钠对鲫鱼生长和肠细胞增殖的影响[J].中国水产科学,2013,20(4):893–901.

[7] 汪富荣,孙浪,何纯希,等.丁酸钠对匙吻鲟生长和肠道黏膜形态的影响[J].中国饲料,2017(13):39–41,45.

[8] 郭丽青,郭孝烨,占秀安.丁酸钠对肉鸡生长性能和抗氧化功能的影响[G].第四届(2014)中国白羽肉鸡产业发展大会暨第三届全球肉鸡产业研讨会会刊,北京：中国畜牧业协会 2014:176-181.

[9] 吴凡.γ-氨基丁酸和丁酸钠对草鱼生长、抗氧化性能和肠道结构的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2016.

[10] 张淞琳,常建波,叶继丹,等.丁酸钠对美洲鳗鲡摄食、生长性能和抗氧化能力的影响[J].福建农业学报,2011,26(4):549–551.

[11] 潘丽俊,刘燕,肖琛闻,等.包膜丁酸钠对球虫感染兔的影响研究[J].中国预防兽医学报,2016,38(10):785–789.

[12] 陈国顺,徐振飞,余荣,等.不同类型丁酸钠在生产加工过程中的稳定性研究[J].中国畜牧杂志,2011,47(5):62–66.

[13] 徐振飞.不同类型丁酸钠稳定性研究及其对断奶仔猪生长性能、肠道形态和消化酶活性的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2011.

[14] 鞠婷婷,郭孝烨,肖雪,等.饲粮添加丁酸钠对黄羽肉鸡生产性能、血清生化指标、消化功能和肠道形态的影响[J].中国家禽,2015(9):32–36.

[15] HULTMARK D,STEINER H,RASMUSON T,et al.Insect immunity.Purification and properties of three inducible bactericidal proteins from hemolymph of immunized pupae of *Hyalophora cecropia*[J].European Journal of Biochemistry,1980,106(1):7–16.

[16] LIU M M,GUO W,WU F,et al.Dietary supplementation of sodium butyrate may benefit growth performance and intestinal function in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J].Aquaculture Research,2016,48(8):4102–4111,doi:10.1111/are.13230.

[17] TEROVA G,DÍAZ N,RIMOLDI S,et al.Effects of sodium butyrate treatment on histone modifications and the expression of genes related to epigenetic regulatory mechanisms and immune response in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed a plant-based diet[J].PLoS One,2016,11(7):e0160332.

[18] 贺姣.丁酸钠缓解黄羽肉鸡高密饲养应激影响的研究[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2015.

[19] 钮海华.丁酸钠对断奶仔猪生长、免疫及肠道功能的影响及其机理研究[D].硕士学位论

文.杭州：浙江大学，2010.

[20] 刘丽华,张卫辉,夏新成,等.丁酸钠对肉仔鸡生产性能及免疫功能的影响[J].中国粮油学报,2009,24(10):84–88.

[21] 刘文舒,杨严鸥,张建立,等.饲喂包膜丁酸钠对建鲤(*Cyprinus carpio*)生长、肠道粘膜形态、非特异性免疫力和粘附菌群的影响[C]//第九届世界华人鱼虾营养学术研讨会论文集.厦门:中国水产学会,2013.

[22] 张晓晓,汪多,田相利,等.包膜丁酸钠对凡纳滨对虾生长和血清非特异性免疫酶活性的影响[J].中国海洋大学学报（自然科学版）,2017,47(增刊 1):27–34.

[23] 阿明古丽·牙生,余雄,李胜利,等.丁酸钠对围生期奶牛免疫和抗氧化功能的影响[J].饲料研究,2015(5):30–34.

[24] 李新文,吕延玲.鱼类的非特异性免疫概述[J].黑龙江水产,2010(2):44–45.

[25] 权宇彤.溶菌酶的制备与活性检测[D].硕士学位论文.长春:吉林大学,2006.

[26] 孟宇竹,雷昌贵,王霞,等.SOD 抗氧化作用及其在食品工业中的应用[J].中国食品添加剂,2009(1):134–137.

[27] 童和,胡纹,刘音,等.人和动物血清谷丙转氨酶活力的测定[J].铁道劳动卫生通讯,1979(4):28–34.

[28] 曹淑兰.肝脏酶谱在肝病中的诊断价值[EB/OL].首席医学网,2005-04-16.http://journal.9med.net/qikan/article.php?id=66944.

[29] WANG Y,XIONG L,YANG K J,et al. Effect of beta-cypermethrin on GPT and GOT activities of crucian serum[J].Agricultural Science & Technology,2005,6(1):20–23.

[30] 陆嵘,范建高.血清转氨酶异常的病因分析[J].肝脏,2000(4):240–241.

[31] 杨良辉,蒋泽菊,AHMED H A,等.日粮中添加丁酸钠和/或肠道益生菌 Protexin 对尼罗罗非鱼生长性能、某些血液参数和免疫反应的影响[J].农技服务,2017,34(12): 1–5.

Effects of Microencapsulated Sodium Butyrate on Growth Performance, Nonspecific Immunity and Hepatic Function of Blunt Snout Bream under High Density Culture Condition

QU Xiangyong LUO Ling HAN Qipeng

（*Collaborative Innovation Center of Hunan Livestock and Poultry Safety Production, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to evaluate the effects of microencapsulated sodium butyrate on growth performance, nonspecific immunity and hepatic function of blunt snout bream under high density culture condition. A total of healthy 1 500 blunt snout bream with the initial body weight of (200.78±0.46) g were randomly divided into 5 groups with 6 replicates in each group and 50 fish in each replicate. The fish in control group was fed with a basal diet for 60 days, while the fish in experimental groups were fed the basal diet supplemented with 200, 400, 600 and 1 000 mg/kg microencapsulated sodium butyrate for 60 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group, diet supplemented with 600 and 1 000 mg/kg microencapsulated sodium butyrate significantly increased the weight gain rate (P <0.05); diet supplemented with 1 000 mg/kg microencapsulated sodium butyrate significantly decreased the feed conversion rate (P<0.05). 2) Compared with the control group, the total superoxide dismutase (T-SOD) activity in serum, mucus and liver and the lysozyme (LSZ) activity in serum were significantly increased by adding 600 and 1 000 mg/kg microencapsulated sodium butyrate into the diet (P<0.05); the T-SOD activity in liver and the LSZ activity in serum were significantly increased by adding 400 mg/kg microencapsulated sodium butyrate into the diet (P<0.05); the LSZ activity in mucus was significantly increased by adding 1 000 mg/kg microencapsulated sodium butyrate into the diet

Author,QU Xiangyong, professor, E-mail： quxy99@126.com (责任编辑　菅景颖)

(P<0.05). 3) Compared with the control group, the activities of alanine aminotransferase and alanine aminotransferase in liver were significantly increased by adding 600 and 1 000 mg/kg microencapsulated sodium butyrate into the diet (P<0.05). It can be seen that adding sodium butyrate into the diet can improve the feed utilization rate, nonspecific immunity and hepatic function of blunt snout bream under high density culture condition.

Key words: microencapsulated sodium butyrate; blunt snout bream; growth performance; nonspecific immunity; hepatic function